

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04L 12/64, 12/44, H04J 3/06

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT03/00164

(22) Internationales Anmeldedatum: 4. Juni 2003 (04.06.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität: A 895/2002 13. Juni 2002 (13.06.2002) AT

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FTS COMPUTERTECHNIK GES.M.B.H. [AT/AT]; Föhrenweg 8, A-2500 Baden bei Wien (AT).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KOPETZ, Hermann [AT/AT]; Am Bühel 12, A-2500 Baden bei Wien (AT).

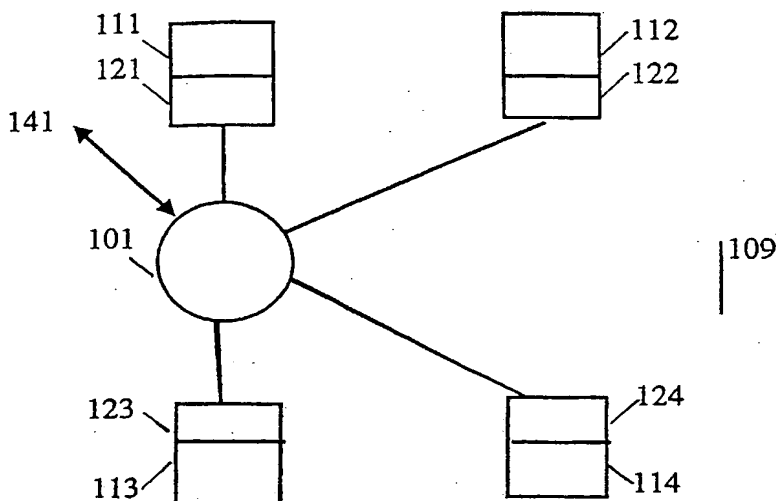
(74) Anwalt: MATSCHNIG, Franz; Siebensterngasse 54, A-1071 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMMUNICATION METHOD AND SYSTEM FOR TRANSMITTING TIMED AND EVENT-DRIVEN ETHERNET MESSAGES

(54) Bezeichnung: KOMMUNIKATIONSVERFAHREN UND SYSTEM ZUR ÜBERTRAGUNG VON ZEITGESTEUERTEN UND EREIGNISGESTEUERTEN ETHERNET-NACHRICHTEN



(57) Abstract: The invention relates to a communication method for transmitting Ethernet messages in a distributed real-time system in which a plurality of network node computers, e.g. four network node computers (111, 112, 113, 114) comprising at least one communication controller (121, 122, 123, 124) each, are linked via a communication system that comprises one or more communication channels (109), whereby in every communication channel one or more intelligent star couplers (101, 102) are disposed. According to the invention, a distinction is made between conventional Ethernet messages (ET messages) and timed Ethernet messages (TT messages), the TT messages being transported with an a priori known constant delay time (?) between transmitter and receiver. If

there is a time conflict between ET and TT messages, the transport of the conflicting ET messages is delayed or interrupted in

BEST AVAILABLE COPY

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** Afrikanisches Patent (GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Die Erfindung betrifft ein Kommunikationsverfahren zur Übertragung von Ethernet-Nachrichten in einem verteilten Echtzeitsystem, in dem eine Vielzahl von Knotenrechnern, z.B. vier Knotenrechner, die über mindestens je einen Kommunikationskontroller verfügen, die über ein Kommunikationssystem bestehend aus einem oder mehreren Kommunikationskanälen verbunden sind, wobei in jedem Kommunikationskanal ein oder mehrere intelligente Sternkoppler angeordnet sind.

Weiters betrifft die Erfindung einen Sternkontroller für ein Kommunikationssystem zur Übertragung von Ethernet-Nachrichten in einem verteilten Echtzeitsystem umfassend eine Vielzahl von Knotenrechnern, z.B. vier Knotenrechner, die über mindestens je einen Kommunikationskontroller verfügen, wobei das Kommunikationssystem aus einem oder mehreren Kommunikationskanälen besteht, über welche die Knotenrechner miteinander verbunden sind, und wobei in jedem Kommunikationskanal ein oder mehrere intelligente Sternkoppler angeordnet sind.

Im weiteren Text wird auf die untenstehend angegebene Literatur verwiesen:

[1] US 5694542 issued on Dec. 12, 1989: A loosely coupled distributed computer system with node synchronization for precision in real time.

[2] EP 0 658 257 vom 18.12.1996: Kommunikationskontrolleinheit und Verfahren zur Übermittlung von Nachrichten.

[3] US 5887143 issues on March 23, 1999: Time-Triggered Communication Control Unit and Communication.

[4] AT 407 582 vom 15.6.2000: Nachrichtenverteilereinheit mit integriertem Guardian zur Verhinderung von Babbling Idiot Fehlern.

[9] Kopetz, H. (1997). Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications; ISBN: 0-7923-9894-7. Boston. Kluwer Academic Publishers

[10] Sharon, O., Spratt, M., „A CSMA/CD compatible MAC for real-time transmission based on varying collision intervals“. In: INFCOM '98. Seventh Annual Meeting Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, Volume: 3, 1998, Seiten 1265 - 1272 vol. 3.

In den vergangen zwanzig Jahren hat sich der IEEE Ethernet Standard 802.3 [8] so weit durchgesetzt, dass aufgrund des vorhandenen Massenmarktes für Ethernet Controller im Personal Computer Bereich die Kosten für Ethernet basierte Kommunikationssysteme sehr stark gesunken sind. Aus diesen Kostengründen wird Ethernet auch zunehmend in der Echtzeitdatenverarbeitung eingesetzt, obwohl das vorhandene Ethernetprotokoll keine guten Echtzeiteigenschaften, wie minimaler Jitter, besitzt.

Aus [10] ist ein CSMA/CD-System bekannt, bei dem Nachrichten in solche niedriger und hoher Priorität unterteilt werden, wobei bei einem Konflikt zweier Nachrichten jener Nachricht mit hoher Priorität der Vorzug gegeben wird.

Mit der hier vorgeschlagenen Vorgangsweise alleine lassen sich allerdings die Echtzeiteigenschaften des Ethernetprotokolls nicht wesentlich verbessern.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, die Übertragung von Ethernet-Nachrichten mit guten Echtzeit-Eigenschaften zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird mit einem eingangs erwähnten Verfahren dadurch gelöst, dass erfindungsgemäß zwischen herkömmlichen Ethernet-Nachrichten (ET-Nachrichten) und zeitge-

rungszeit zwischen Sender und Empfänger zu transportieren, wobei bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten der Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht verzögert oder abgebrochen wird, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit transportieren zu können.

Im Gegensatz zu der in [10] geoffenbarten „non pre-emptive“ Lösung muss bei der vorliegenden Erfindung nicht das Ende des Sendens einer Nachricht mit niedriger Priorität abgewartet werden, sondern es wird die Nachricht niedriger Priorität abgebrochen, um die Nachricht hoher Priorität senden zu können („pre-emptive“). Dadurch ist es auch nicht notwendig, die maximale Laufzeit von Nachrichten mit niedriger Priorität abzuwarten, und die konstante Latenz kann somit auch kurz gehalten werden.

Durch das Garantieren einer konstanten Verzögerungszeit kann eine hohe regelungstechnische Genauigkeit erreicht werden. Die konstante Verzögerungszeit ist dabei aus dem Grund von besonderer Bedeutung, da wie aus der Theorie der Uhrensynchronisation bekannt ist, die Variabilität der Verzögerungszeit (das ist die Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Verzögerungszeit) die Genauigkeit der Uhrensynchronisation verschlechtert. Eine a priori bekannte konstante Verzögerungszeit kann im Uhrensynchronisationsalgorithmus berücksichtigt werden und hat daher keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Uhrensynchronisation. Eine ungenaue Uhrensynchronisation führt zu einer schlechten Zeitbasis, da die Granularität der globalen Zeit größer sein muss als die Genauigkeit der Uhrensynchronisation. Eine grobe Granularität der Uhren führt zu einer ungenauen zeitlichen Auflösung von Ereignissen. Weiters bestimmt die Variabilität der Verzögerungszeit auch die Genauigkeit der Synchronisation verteilter Aktionen in einem verteilten Computersystem.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, die Echtzeiteigenschaften eines auf Ethernet Nachrichten aufbauenden Kommunikationssystems wesentlich zu verbessern. Dieses neue

pel in der Datenerfassung und ermöglicht es, die temporale Sperrung zu verbessern. Außerdem können herkömmliche Ethernet-Controller ohne Änderungen eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich besonders einfach realisieren, wenn die konstante Verzögerungszeit so gewählt wird, dass innerhalb dieser Verzögerungszeit die Ausgangskanäle des Sternkopplers für den Transport der eintreffenden TT-Nachricht frei gemacht werden können.

Bei einer Ausführungsform ist in einem ausgezeichneten Feld der Nachricht gekennzeichnet, ob die Nachricht eine TT-Nachricht oder eine ET-Nachricht ist.

Weiters kann in einer TT-Nachricht ein optionales Zeitfeld enthalten sein, das den Sendezeitpunkt der Nachricht angibt.

Von Vorteil ist es dabei, wenn bereits durch eine a priori Planung festgelegt wird, dass zwischen dem Transport von zwei TT-Nachrichten ein zeitlicher Abstand von mindestens der konstanten Verzögerungszeit eingehalten wird.

Weiters wird die oben erwähnte Aufgabe mit einem eingangs erwähnten System gelöst, welches erfindungsgemäß dazu eingerichtet ist, zwischen herkömmlichen Ethernet-Nachrichten (ET-Nachrichten) und zeitgesteuerten Ethernet-Nachrichten (TT-Nachrichten) zu unterscheiden und die TT-Nachrichten mit einer a priori bekannten konstanten Verzögerungszeit zwischen Sender und Empfänger zu transportieren, wobei bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten der Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht verzögert oder abgebrochen wird, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit transportieren zu können.

Die konstante Verzögerungszeit so ge-

schen dem Transport von zwei TT-Nachrichten ein zeitlicher Abstand von mindestens der konstanten Verzögerungszeit eingehalten wird.

Bei einer konkreten Ausführungsform des Kommunikationssystems ist vorgesehen, dass dem Sternkoppler über eine Konfigurationsnachricht bekannt gegeben wird, zu welchen Zeitpunkten eintreffende Nachrichten TT-Nachrichten sind.

Dabei unterscheidet der Sternkoppler zwischen TT-Nachrichten und ET-Nachrichten und transportiert die TT-Nachrichten mit einer a priori bekannten konstanten Verzögerungszeit, und bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten bricht er den Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht ab, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit transportieren zu können.

Dabei ist dann vorgesehen, dass der Sternkoppler nach der zeitgerechten Übertragung einer TT-Nachricht die in Konflikt gestandene abgebrochene ET-Nachricht erneut sendet.

Weiters kann vorgesehen sein, dass der Sternkoppler seine lokale Uhr unter Nutzung des in einer TT-Nachricht enthaltenen Zeitfeldes synchronisiert.

Besonders günstig ist es dabei, wenn der Sternkoppler seine lokale Uhr unter Nutzung der in mehreren TT-Nachrichten enthaltenen Zeitfelder fehlertolerant synchronisiert.

Zusätzlich kann vorgesehen sein, dass der Sternkoppler über einen dedizierten unidirektionalen Kanal, auf dem alle TT-Nachrichten, die der Sternkoppler transportiert, ausgegeben werden, mit den replizierten Sternkopplern innerhalb eines Clusters von Knotenrechnern verbunden ist.

Zusätzlich ist es dann noch möglich, dass der Sternkoppler bei jeder TT-Nachricht auf der

prüft während der Verzögerungszeit, ob der Nachricht a priori mitgeteilt wurden, übereinstimmt. Falls eine Übereinstimmung nicht gegeben ist, wird die Nachricht so verstümmelt, dass alle korrekten Empfänger die Nachricht als fehlerhaft erkennen.

Außerdem ist erfindungsgemäß noch vorgesehen, dass der Kommunikationskontroller seine lokale Uhr unter Nutzung des in einer TT-Nachricht enthaltenen Zeitfeldes synchronisiert.

Der Kommunikationskontroller synchronisiert seine lokale Uhr unter Nutzung der in mehreren TT-Nachrichten enthaltenen Zeitfelder fehlertolerant.

Außerdem sendet der Kommunikationskontroller eine von einer auf einem Knotenrechner ausgeführten Applikation übernommene TT-Nachricht autonom, sobald der in der Nachricht im Zeitfeld angegebene Sendezeitpunkt erreicht wird.

Weiters ist vorgesehen, dass der Kommunikationskontroller zwischen ET- und TT-Nachrichten unterscheidet und der Kommunikationskontroller die ET-Nachrichten entsprechend der Ereignissemantik an die lokale Applikationssoftware anbietet, wobei eine neue Nachricht in eine Warteschlange eingereiht wird, aus der von der Applikationssoftware konsumierend gelesen wird, und der Kommunikationskontroller TT-Nachrichten entsprechend der Zustandssemantik an die lokale Applikationssoftware anbietet, wobei eine neue Nachricht die alte Version der Nachricht ersetzt und das Lesen durch die lokale Applikationssoftware nicht konsumierend erfolgt.

Schließlich verfügt der Kommunikationskontroller über zwei oder mehr unabhängige Kommunikationskanäle, auf denen identische Kopien einer TT-Nachricht angeboten werden, und der einen Kommunikationsvorgang als erfolgreich betrachtet, wenn auf mindestens einen Kanal eine TT-Nachricht rechtzeitig eintrifft.



Fig. 4 den Aufbau eines Sternkopplers

Fig. 5 den Aufbau einer TT-Ethernet Nachricht, und

Fig. 6 die Bitfelder eines TT-Parameterfeldes der TT-Ethernet-Nachricht.

Im Folgenden wird eine Realisierung des neuen Verfahrens an einem möglichen Beispiel mit vier Knotenrechnern, die über einen oder zwei replizierte Sternkoppler verbunden sind, gezeigt.

Fig. 1 zeigt ein verteiltes Computersystem mit einem Sternkoppler. Es besteht aus den vier Knotenrechner 111, 112, 113, und 114, die über je einen Kommunikationskontroller 121, 122, 123, und 124 mit je einem bidirektionalen Kommunikationskanalanschluss verfügen, und die über ein Kommunikationssystem bestehend aus einem Kommunikationskanal 109 verbunden sind. In diesem Kommunikationskanal befindet sich ein intelligenter Sternkoppler 101 zur zentralen Steuerung der Kommunikation. Der Sternkoppler 101 kann über einen optionalen getrennten Kommunikationskanal 141 initialisiert und beobachtet werden.

Fig. 2 zeigt ein verteiltes fehlertolerantes Computersystem mit zwei Sternkopplern. Es besteht aus den vier Knotenrechner 111, 112, 113, und 114, die über je einen Kommunikationskontroller 121, 122, 123, und 124 mit je zwei bidirektionalen Kommunikationskanalanschlüssen verfügen. Jeder dieser Kommunikationskanalanschlüsse ist mit je einem intelligenten Sternkoppler 101 und 102 verbunden, die die zentrale Steuerung der Kommunikation vornehmen. Der Sternkoppler 101 kann seine Nachrichten über Kanal 151 an den Sternkoppler 102 senden und kann über den getrennten Kommunikationskanal 141 initialisiert und beobachtet werden. Der Sternkoppler 102 kann seine Nachrichten über Kanal 152 an den Sternkoppler 101 senden und kann über den getrennten Kommunikationskanal 142 initialisiert und beobachtet werden.

entsprechend dieser Kennung

solche Kennung ist konform zum Ethernet Standard [8]. Es sei darauf hingewiesen, dass im Ethernet Standard die Codevergabe für das Feld 305 noch nicht voll ausgeschöpft ist und daher auch dieses Feld für die Kennung einer TT-Nachricht herangezogen werden könnte.

Fig. 5 zeigt den Aufbau einer TT-Ethernet Nachricht. Zusätzlich zu den in Fig. 4 beschriebenen Feldern wird im Feld 308 ein TT-Parameterfeld eingeführt und in Feld 309 der optionale Sendezeitpunkt der TT-Nachricht angegeben. Ein am Markt verfügbarer standardisierter Ethernet Kontroller sieht in den Feldern 308 und 309 benutzerspezifische Datenfelder. Im TT-Parameterfeld 308 befinden sich Informationen betreffend die Struktur und den Typ der TT-Nachricht.

Fig. 6 zeigt den Inhalt der Bitfelder des TT-Parameterfeldes 308. Ist das Bit in Feld 601 (low-order bit) gesetzt, so bedeutet dies, dass in der TT-Nachricht der Sendezeitpunkt in Feld 309 enthalten ist. Ist das Bit in Feld 602 gesetzt, so bedeutet, dies dass die Nachricht von einem Sender mit einer präzisen Uhrzeit kommt und zur Uhrensynchronisation herangezogen werden darf.

Wenn ein Knotenrechner, z.B. 111, eine TT-Nachricht senden will, so setzt er im Nachrichtenfeld 306 die Kennung für eine TT-Nachricht und sendet die Nachricht. Alternativ kann die auf einem Knotenrechner ablaufenden Applikationssoftware das Bit 601 in der Nachricht setzen und den gewünschten Sendezeitpunkt in das Feld 309 der Nachricht schreiben. Der Sendestart kann dann autonom durch einen erfindungsgemäß erweiterten Ethernet Kommunikationskontroller präzise zum festgelegten Sendezeitpunkt 309 erfolgen. Wenn der Sender das Bit 602 der Nachricht setzt, dann beinhaltet die Nachricht eine besonders präzise Zeitangabe, die für die Uhrensynchronisation der anderen Kontroller herangezogen werden kann.

Ein Knotenrechner analysiert eine ankommende Nachricht und stellt an Hand von Feld 306

Sternkoppler diese konstante Verzögerungszeit  $\Delta$  zwischen dem Beginn des Empfanges einer TT-Nachricht und dem Beginn des Sendens einer TT-Nachricht präzise ein. Wenn der Sternkoppler den Transport einer in Konflikt stehenden ET-Nachricht abgebrochen hat, so kann er nach dem zeitgerechten Transport der TT-Nachricht die abgebrochene ET-Nachricht erneut senden. Der Sternkoppler kann auch Guardian Funktionen, wie sie in [4] beschrieben sind, übernehmen um fehlerhafte Nachrichten zu erkennen und zu isolieren und so die Ausbreitung von Fehlern zu verhindern. Wenn eine TT-Nachricht im Feld 309 den Sendezeitpunkt erhält, so kann der Sternkoppler überprüfen, ob die Nachricht entsprechend [6] innerhalb eines bekannten Toleranzintervalls um den Sendezeitpunkt ankommt und die Nachricht verwerfen, wenn dies nicht der Fall ist. Alternativ kann dem Sternkoppler über eine a priori übermittelte Konfigurationsnachricht über Kanal 141 mitgeteilt werden, auf welchen Eingangskanälen zu welchen Zeitpunkten TT-Nachrichten erwartet werden. Diese Informationsredundanz verhindert in einem fehlertoleranten System, dass ein fehlerhafter Rechnerknoten eine falsche Sendezeit in die Nachricht einträgt. Da der Sternkoppler die Nachricht auf der Basis seines eigenen Oszillators und seiner eigenen Stromversorgung am Ausgang kodiert, wird die Weiterleitung eines SOS Fehlers vom Sender an die Empfänger unterbunden [4]. Der Sternkoppler kann seine lokale Uhr initial synchronisieren, indem er den Beginn des Eintreffens einer TT-Nachricht misst und seine Uhr so einstellt, dass sie zu diesem Eintreffenszeitpunkt den Wert der in der Nachricht enthaltenen globalen Zeit 309 angenommen hätte [5].

Eine kontinuierliche fehlertolerante Uhrensynchronisation kann wie folgt realisiert werden: der Sternkoppler bestimmt bei jeder in Feld 602 markierten Synchronisationsnachricht das Intervall zwischen dem mit seiner lokalen Uhr gemessenen Eintreffenszeitpunkt der Synchronisationsnachricht und dem im Feld 309 der Nachricht enthaltenen Sendezeitpunkt [5]. Dieses Intervall ist ein Maß für die Abweichung der Uhr des Empfängers von der Uhr des Senders. Wenn eine Anzahl von solchen Messungen vorliegt, so kann mit einem bekannten fehlertoleranten Synchronisationsalgorithmus, wie in [9] auf S. 61. beschrieben, der Korrek-

vom Sternkoppler nicht weitergeleitet.

Wenn ein empfangender Kommunikationskontroller im Feld 309 der eintreffenden TT-Nachricht den Sendezeitpunkt vorfindet, so kann er seine lokale Uhr initial synchronisieren, indem er den Beginn des Eintreffens dieser Nachricht misst, und seine Uhr so einstellt, dass sie zu diesem Eintreffenszeitpunkt den Wert der in der Nachricht enthaltenen globalen Zeit 309 plus dem konstanten vom Sternkoppler verursachten Verzögerungsintervall  $\Delta$  angenommen hätte [5]. Eine kontinuierliche fehlertolerante Uhrensynchronisation kann wie folgt realisiert werden: der Kommunikationskontroller bestimmt bei jeder in Feld 602 markierten Synchronisationsnachricht das Intervall zwischen den mit seiner lokalen Uhr gemessenen Eintreffenszeitpunkt der Synchronisationsnachricht und dem im Feld 309 der Nachricht enthaltenen Sendezeitpunkt. Er verkürzt dieses Intervall um das bekannte Verzögerungsintervall  $\Delta$  des Sternkopplers. Dieses verkürzte Intervall ist ein Maß für die Abweichung der Uhr des Empfängers von der Uhr des Senders. Wenn eine Anzahl von solchen Messungen vorliegt, so kann mit einem bekannten fehlertoleranten Synchronisationsalgorithmus, wie in [9] auf S. 61. beschrieben, der Korrekturfaktor für die Uhr des Empfängers errechnet werden. Ein solches fehlertolerantes Synchronisationsverfahren kann auch in der Hardware des empfangenden Kommunikationskontrollers realisiert werden [1]. Wenn die Applikationssoftware eines Rechnerknotens, z.B. 111, in das Nachrichtenfeld 309 den beabsichtigten Sendezeitpunkt der Nachricht einträgt, so kann ein erfindungsgemäß erweiterter Kommunikationskontroller den Beginn des Sendens autonom zum präzise richtigen Sendezeitpunkt veranlassen [2,3]. An der Schnittstelle zwischen dem empfangenden Kommunikationskontroller, z.B. 121 und der Applikationssoftware kann ein erfindungsgemäß erweiterter Kommunikationskontroller ET-Nachrichten und TT-Nachrichten unterschiedlich anbieten. ET-Nachrichten beinhalten normalerweise Informationen über Ereignisse und müssen nach der Ereignissemantik bearbeitet werden[7]. Die Ereignissemantik verlangt, dass eintreffende Nachrichten in einer Warteschlange zwischengespeichert werden und exakt einmal an den Benutzernprozess übergeben werden. TT-Nachrichten beinhalten normalerweise Zustandsda-

von vielen möglichen Implementierungsvarianten der vorliegenden Erfindung darstellt. Zum Beispiel ist es möglich, die Entscheidung, ob eine beim Sternkoppler ankommende Nachricht eine TT-Nachricht ist, nicht vom Nachrichteninhalte in Feld 306 oder in Feld 305 sondern vom Zeitpunkt des Eintreffens einer Nachricht beim Sternkoppler abzuleiten. In einem solchen Fall muss dem Sternkoppler a priori über eine Konfigurationsnachricht bekannt gegeben werden, wann und auf welchem Kanal eine TT-Nachricht zu erwarten ist. Das gleiche gilt für die Kommunikationskontroller.

Es ist ein wesentliches Charakteristikum dieser Erfindung, dass bestehende handelsübliche Ethernet Controller ohne Veränderung zeitgesteuerte Nachrichten senden und empfangen können.

(111, 112, 113, 114), die über mindestens je einen Kommunikationskontroller (121, 122, 123, 124) verfügen, über ein Kommunikationssystem bestehend aus einem oder mehreren Kommunikationskanälen (109) verbunden sind, wobei in jedem Kommunikationskanal ein oder mehrere intelligente Sternkoppler (101, 102) angeordnet sind,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

zwischen herkömmlichen Ethernet-Nachrichten (ET-Nachrichten) und zeitgesteuerten Ethernet-Nachrichten (TT-Nachrichten) unterschieden wird,

die TT-Nachrichten mit einer a priori bekannten konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) zwischen Sender und Empfänger transportiert werden,

und bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten der Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht verzögert oder abgebrochen wird, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) transportieren zu können.

2. Kommunikationsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konstante Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) so gewählt wird, dass innerhalb dieser Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) die Ausgangskanäle des Sternkopplers (101, 102) für den Transport der eintreffenden TT-Nachricht frei gemacht werden können.

3. Kommunikationsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem ausgezeichneten Feld der Nachricht gekennzeichnet ist, ob die Nachricht eine TT-Nachricht oder eine ET-Nachricht ist.

4. Kommunikationsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer TT-Nachricht ein optionales Zeitfeld (309) enthalten ist, das den Sendezeit-

Nachrichten in einem verteilten Echtzeitsystem umfassen eine Reihe von Knotenrechnern, z.B. vier Knotenrechner (111, 112, 113, 114), die über mindestens je einen Kommunikationskontroller (121, 122, 123, 124) verfügen, wobei das Kommunikationssystem aus einem oder mehreren Kommunikationskanälen (109) besteht, über welche die Knotenrechner (111, 112, 113, 114) miteinander verbunden sind, und wobei in jedem Kommunikationskanal ein oder mehrere intelligente Sternkoppler (101, 102) angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

er dazu eingerichtet ist, zwischen herkömmlichen Ethernet-Nachrichten (ET-Nachrichten) und zeitgesteuerten Ethernet-Nachrichten (TT-Nachrichten) zu unterscheiden, und

die TT-Nachrichten mit einer a priori bekannten konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) zwischen Sender und Empfänger zu transportieren,

wobei bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten der Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht verzögert oder abgebrochen wird, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) transportieren zu können.

7. Sternkoppler nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die konstante Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) so gewählt ist, dass innerhalb dieser Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) die Ausgangskanäle des Sternkopplers (101, 102) für den Transport der eintreffenden TT-Nachricht frei gemacht werden können.

8. Sternkoppler nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ausgezeichneten Feld der Nachricht gekennzeichnet ist, ob die Nachricht eine TT-Nachricht oder eine ET-Nachricht ist.

9. Sternkoppler nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass in

Sternkoppler über eine Konfiguration von Knoten eintreffende Nachrichten TT-Nachrichten sind.

12. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass er zwischen TT-Nachrichten und ET-Nachrichten unterscheidet und die TT-Nachrichten mit einer a priori bekannten konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) transportiert, und bei einem zeitlichen Konflikt zwischen ET- und TT-Nachrichten den Transport der in Konflikt stehenden ET-Nachricht abbricht, um die TT-Nachricht mit der konstanten Verzögerungszeit ( $\Delta$ ) transportieren zu können.
13. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass er nach der zeitgerechten Übertragung einer TT-Nachricht die in Konflikt gestandene abgebrochene ET-Nachricht erneut sendet.
14. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Sternkoppler seine lokale Uhr unter Nutzung des in einer TT-Nachricht enthaltenen Zeitfeldes (309) synchronisiert.
15. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass er seine lokale Uhr unter Nutzung der in mehreren TT-Nachrichten enthaltenen Zeitfelder (309) fehlertolerant synchronisiert.
16. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass er über einen dedizierten unidirektionalen Kanal (151), auf dem alle TT-Nachrichten, die der Sternkoppler transportiert, ausgegeben werden, mit den replizierten Sternkopplern innerhalb eines Clusters von Knotenrechnern verbunden ist.
17. Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass er bei Empfang einer TT-Nachricht auf Basis seiner lokalen Zeit überprüft, ob die TT-Nachricht innerhalb



zeit ( $\Delta$ ) überprüft, ob der Inhalt dieser Felder mit bekannten Kriterien, die dem Sternkoppler über eine Konfigurationsnachricht a priori mitgeteilt wurden, übereinstimmt, und der, falls eine Übereinstimmung nicht gegeben ist, die Nachricht so verstümmelt, dass alle korrekten Empfänger die Nachricht als fehlerhaft erkennen.

20. Kommunikationssystem zur Übertragung von Ethernet-Nachrichten in einem verteilten Echtzeitsystem umfassend eine Vielzahl von Knotenrechnern, z.B. vier Knotenrechner (111, 112, 113, 114), die über mindestens je einen Kommunikationskontroller (121, 122, 123, 124) verfügen, wobei das Kommunikationssystem aus einem oder mehreren Kommunikationskanälen (109) besteht, über welche die Knotenrechner (111, 112, 113, 114) miteinander verbunden sind, und wobei in jedem Kommunikationskanal ein oder mehrere intelligente Sternkoppler (101, 102) angeordnet sind, gekennzeichnet durch eine Sternkoppler nach einem der Ansprüche 6 bis 19.

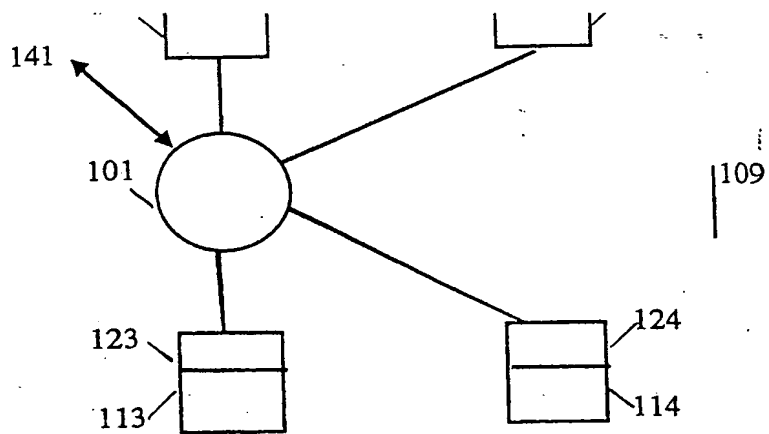
21. Kommunikationssystem nach einem der Ansprüche 6 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommunikationskontroller seine lokale Uhr unter Nutzung des in einer TT-Nachrichten enthaltenen Zeitfeldes (309) synchronisiert.

22. Kommunikationssystem nach einem der Ansprüche 6 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommunikationskontroller seine lokale Uhr unter Nutzung der in mehreren TT-Nachrichten enthaltenen Zeitfelder (309) fehlertolerant synchronisiert.

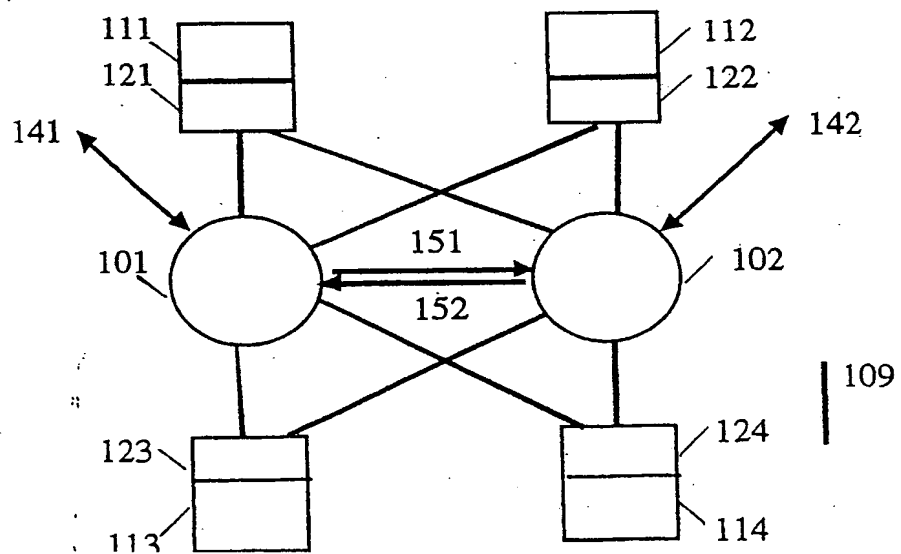
23. Kommunikationssystem nach einem der Ansprüche 6 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommunikationskontroller eine von einer auf einem Knotenrechner ablaufenden Applikation übernommene TT-Nachricht autonom sendet, sobald der in der Nachricht im Zeitfeld (309) angegebene Sendezeitpunkt erreicht wird.

24. Kommunikationssystem nach einem der Ansprüche 6 bis 23, dadurch gekennzeichnet,

dass der Kommunikationskontroller über zwei oder mehr unabhängige Kommunikationskanäle verfügt, auf denen identische Kopien einer TT-Nachricht angeboten werden, und der einen Kommunikationsvorgang als erfolgreich betrachtet, wenn auf mindestens einem dieser redundanten Kanäle eine gültige TT-Nachricht rechtzeitig eintrifft.



**FIG. 1**



Zieladresse (6 Bytes)	
Senderadresse (6 Bytes)	— 304
Nachrichtenlänge / Typ (2 Bytes)	— 307
Datenfeld (0 bis n Bytes) (variabel)	— 310
PAD (0 bis 64 Bytes)	— 311
Feldüberprüfungssequenz (4 Bytes)	— 312

**FIG.3**

Einleitung (7 Bytes)	— 301
Start Begrenzungsfeld (1 byte)	— 302
Zieladresse (6 Bytes)	— 303
Senderadresse (6 Bytes)	— 304
Kode-Vergabe (0x8 100)	— 305
Nachrichtenkennung (2 Bytes)	— 306
Nachrichtenlänge / Typ (2 Bytes)	— 307
Datenfeld (0 bis n Bytes)	— 310

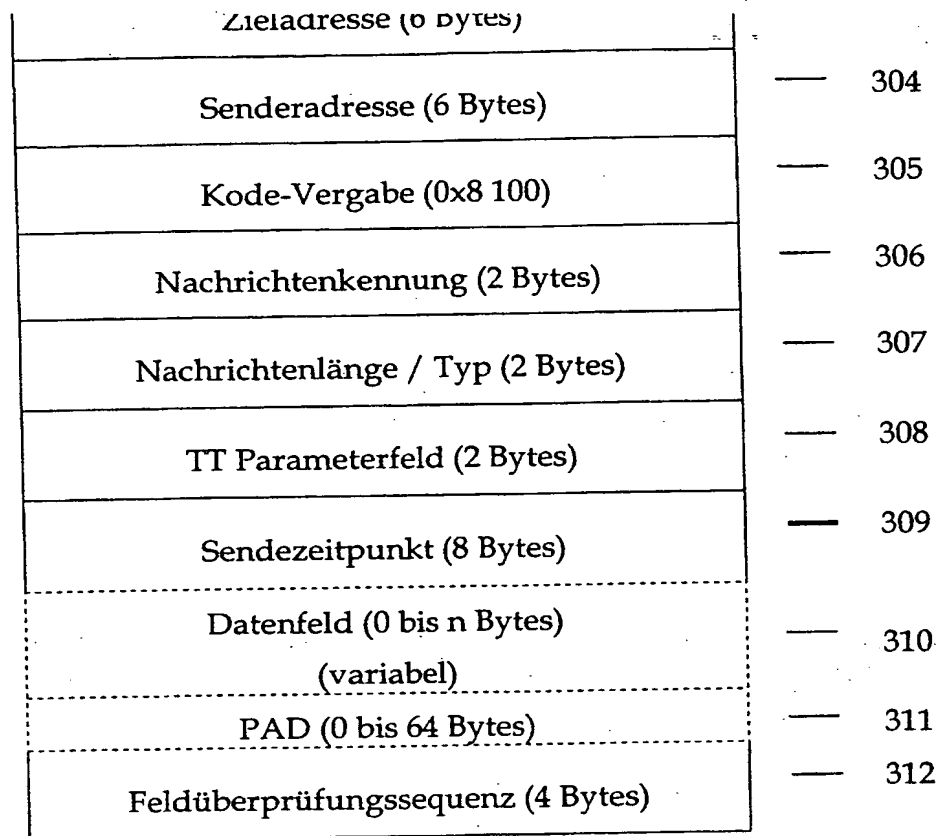
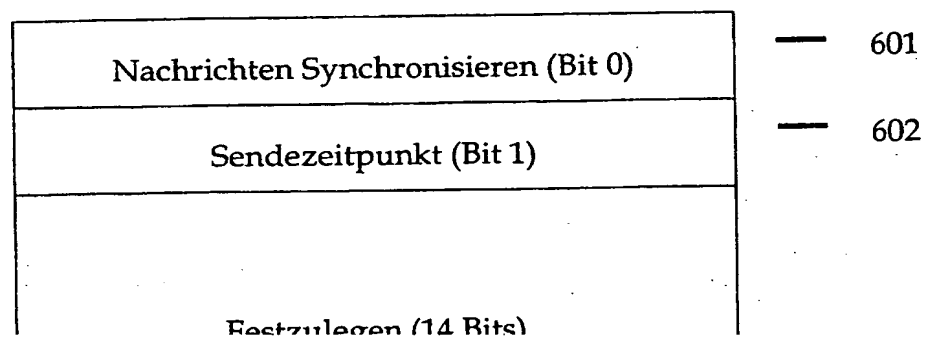


FIG.5



Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 01 95550 A (HOLMEIDE OEYVIND ;ONTIME NETWORKS AS (NO); LILJESTROEM LENNART (SE) 13 December 2001 (2001-12-13) page 3, line 1 -page 4, line 3 page 6, line 13 -page 6, line 32 page 9, line 1 - line 25 figure 5 ---	1-25
X	WO 01 95562 A (HOLMEIDE OEYVIND ;ONTIME NETWORKS AS (NO); LILJESTROEM LENNART (SE) 13 December 2001 (2001-12-13) page 8, line 9 -page 9, line 12; figure 3 ---	1-6
A	EP 0 596 650 A (NAT SEMICONDUCTOR CORP) 11 May 1994 (1994-05-11) the whole document --- -/--	1-25

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- document member of the same patent family

1

2

3

4

			EP	1290839 A2	13-12-2001
			WO	0195562 A2	31-07-2003
			US	2003142696 A1	
EP 0596650	A	11-05-1994	EP	0596650 A1	11-05-1994
			JP	6261044 A	16-09-1994
US 6141355	A	31-10-2000	AU	2021100 A	29-05-2000
			CA	2349461 A1	18-05-2000
			EP	1125386 A1	22-08-2001
			WO	0028684 A1	18-05-2000



Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 01 95550 A (HOLMEIDE OEYVIND ;ONTIME NETWORKS AS (NO); LILJESTROEM LENNART (SE) 13. Dezember 2001 (2001-12-13) Seite 3, Zeile 1 -Seite 4, Zeile 3 Seite 6, Zeile 13 -Seite 6, Zeile 32 Seite 9, Zeile 1 - Zeile 25 Abbildung 5	1-25
X	WO 01 95562 A (HOLMEIDE OEYVIND ;ONTIME NETWORKS AS (NO); LILJESTROEM LENNART (SE) 13. Dezember 2001 (2001-12-13) Seite 8, Zeile 9 -Seite 9, Zeile 12; Abbildung 3	1-6
A	EP 0 596 650 A (NAT SEMICONDUCTOR CORP) 11. Mai 1994 (1994-05-11) das ganze Dokument	1-25



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

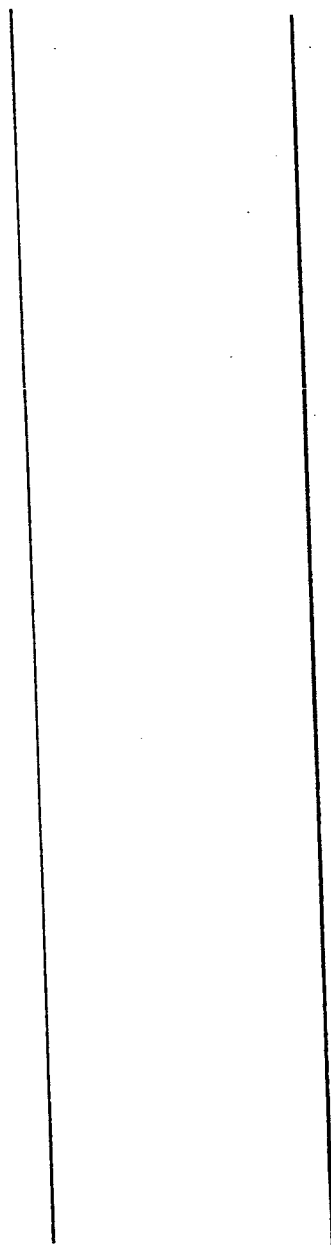
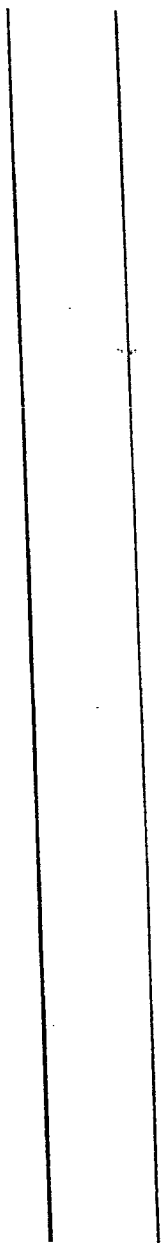
\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und



			EP	1290839 A2	12-03-2003
			WO	0195562 A2	13-12-2001
			US	2003142696 A1	31-07-2003
<hr/>					
EP 0596650	A	11-05-1994	EP	0596650 A1	11-05-1994
			JP	6261044 A	16-09-1994
<hr/>					
US 6141355	A	31-10-2000	AU	2021100 A	29-05-2000
			CA	2349461 A1	18-05-2000
			EP	1125386 A1	22-08-2001
			WO	0028684 A1	18-05-2000
<hr/>					

**THIS PAGE BLANK (USP10,**

**ORIGINAL  
NO MARGINALIA**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**